

明細書

熱光学型可変光減衰器及びこれを用いたアレイ型可変光減衰器
技術分野

[0001] 本発明は、大容量多チャンネルの光通信システム及び光計測システム等の分野において、光信号の強度をチャンネル毎に調整できる熱光学型可変光減衰器及びこれを用いたアレイ型可変光減衰器に関する。

背景技術

[0002] 近年、インターネットの急速な普及に伴い、光通信ネットワークの伝送容量を増大させるための試みの一つとして、波長の異なる複数の光信号を1本の光ファイバに多重して伝送する波長分割多重伝送(WDM:Wavelength Division Multiplexing)方式が実用化されるに至っている。WDMシステムにおいては、光増幅器(例えば、エルビニウムドープファイバアンプ:EDFA)の使用が必要不可欠となるが、通常、光増幅器は利得波長依存性を持つため、受信機の飽和やS/N比の悪化等の問題を抱える。

[0003] このような問題を解決する手段の一つとして、WDMシステムにおける合波器の入力側に可変光減衰器(VOA:Voltage Optical Attenuator)を設け、波長毎に信号レベルを調整する方法が行なわれている。

[0004] そのためには、多数のVOAを並列に配置することによって、波長毎にVOAを用いるアレイ型VOAの使用が好ましい。一般に、VOAには、低挿入損失、偏波無依存性、波長無依存性、光減衰量可変範囲の広域性などの特性が望まれる。アレイ型VOAの場合には更に、隣接VOAアレイ間の低クロストーク、低成本、コンパクト化、低消費電力などが要求される。

[0005] このような要求を満たすVOAとして、電気光学効果、磁気光学効果、熱光学効果(温度により屈折率が変化する効果)を用いた非機械式VOAがある。特に、熱光学効果を用いたVOA(熱光学型VOA)の製造材料として、温度変化に対して屈折率の変化が大きい光学ポリマー材料が近年注目を集めている。

[0006] 光学ポリマー材料は、SiO₂(二酸化シリコン:石英)材料と比較して、熱光学係数が

一桁以上大きく、熱伝導率が低いことから、低消費電力が図れ、かつ低コストで製造できるという利点がある。特に、ポリイミド樹脂、エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、ゾルゲル法による有機無機ポリマー等の光学ポリマー材料は、温度が高くなると屈折率が低くなるという負熱光学効果を有する。

[0007] 熱光学型VOAの製造に関し、このような特性を有する光学ポリマー材料を用いると、スピンドルコート法により薄膜形成が容易となる上、製造プロセスを低温で行うことが可能となるため、製造基板を限定する必要がなく、大面積基板での製造が可能となり、熱光学型VOAを構成するクラッド層やコア層の積層化も容易である。また、スピンドルコート法に限らず、多種多様な製造方法が適用できるため、量産性に優れ、低コストも期待できる。

[0008] 図1は、従来の熱光学型VOAの構成を示したスケルトン平面図である。これについては、特開2002-162654号公報、ELECTRONICS LETTERS, 23rd November 2000 Vol.36 No. 24, pp2032-2033. 及びELECTRONICS LETTERS, 26rd April 2001 Vol.37 No.9, pp587-588.を参照のこと。

[0009] 図1の熱光学型可変光減衰器20においては、電源25から電流が流されると、ヒータ24が加熱され、ヒータ24の下方に位置するマルチモード光導波路23の被加熱部の温度が上昇する。すると、熱光学型可変光減衰器20を構成する光学ポリマー材料の負熱光学特性により上記被加熱部の屈折率が小さくなる。これにより、シングルモード光導波路21を伝搬する入力光 ϕ 10(光パワーP10)がテーパ部22を伝搬した後、マルチモード光導波路23の上記被加熱部において高次モード光 ϕ 1、 ϕ 2が励起される。そして、この励起された高次モード光 ϕ 1、 ϕ 2は、マルチモード光導波路23の周辺に拡散し、光漏洩が起こり、その結果、シングルモード光導波路27の出力光パワー(P11)が減衰する(すなわち、P11 < P10)。

[0010] 上記熱光学型可変光減衰器20を複数並列に配置してアレイ型可変光減衰器を構成した場合、各マルチモード導波路から漏洩された光が隣接導波路と結合することになって、光減衰量の可変範囲及び隣接導波路間のクロストークを悪化させるといった課題が生じる(例えば、隣接導波路の間隔が250 μ mの場合、クロストークは約-3 4dBである。)。

発明の開示

[0011] 本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、ヒータにより加熱されたアレイ型導波路の被加熱部で励起された高次モード光の拡散による漏洩に起因する隣接導波路間のクロストークを低減させると共に、光減衰量の可変範囲を大きくすることができるアレイ型可変光減衰器を容易に得ることのできる熱光学型可変光減衰器を提供することを目的とする。

[0012] 上記課題を解決するための手段として、本発明に係る熱光学型可変光減衰器は、負熱光学効果を有する光学材料を用いたものであって、入力光が伝搬する第1のシングルモード光伝搬部と、出力光が伝搬する第2のシングルモード光伝搬部と、前記第1及び第2のシングルモード光伝搬部の間に設けられたマルチモード光伝搬部と、前記第1のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第1のテープ部と、前記第2のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第2のテープ部と、を有する第1の光導波路と、前記第1の光導波路の出力光の伝搬方向に対して角度 β 傾斜させて、前記マルチモード光伝搬部上に配置された薄膜ヒータと、前記薄膜ヒータによって励起され、拡散放出された高次モード光を受光し、バイパスさせるために、前記マルチモード光伝搬部の片側に、前記出力光の伝搬方向に対して角度 2β 傾斜した方向に設けられたマルチモード光受光部と、前記マルチモード光受光部で受光されたマルチモード光を前記第2のシングルモード光伝搬部の中心軸と平行な方向にガイドし、放出させるための出力部と、を有する第2の光導波路と、を備えたことを特徴とするものである。

[0013] 本発明は、入力光が伝搬する第1のシングルモード光伝搬部と、出力光が伝搬する第2のシングルモード光伝搬部の間にテープ部を介して設けられたマルチモード光伝搬部を有する第1の光導波路と、前記第1の光導波路の光伝搬方向に対して角度 β 傾斜してマルチモード光伝搬部上にヒータを配置した熱光学型可変光減衰器において、このヒータに電流を流した際に励起される高次モード光を放出し減衰させるに当たって、前記マルチモード光伝搬部の片側に、前記第1の光導波路の光伝搬方向に対して角度 2β 傾斜した方向に高次モード光を受光するためのマルチモード光受光部と、マルチモード光受光部で受光された高次モード光を前記第2のシング

ルモード光伝搬部の中心軸と平行な方向にガイドし、放出させるための出力部を有する第2の光導波路を設けて減衰させるため、励起された高次モード光がマルチモード光伝搬部の周辺へ拡散することを抑制することができる。従って、本発明の熱光学型光減衰器を高密度に並列に配置してアレイ型可変光減衰器を構成した場合、隣接する光減衰器からの漏洩光の結合に基づく光導波路アレイ間のクロストークを低減させることができると共に、光減衰量の可変範囲を大きくすることができる。

[0014] 前記第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、当該マルチモード光伝搬部の片側に角度 2β 傾斜した方向に設けられた前記第2の光導波路とが交差するV字型領域に、前記高次モード光を効率的に受光伝搬させるための三角形状の補助光導波路を設けることが好ましい。第2の光導波路のマルチモード光受光部に、三角形状の補助光導波路を設けることにより、ヒータによって励起された高次モード光を一層効率的に取り込むことができる。このため、励起された高次モード光がマルチモード光伝搬部の周辺へ拡散することを抑制するという前述の効果を一層高めることができる。

[0015] 前記マルチモード光受光部に起因する光伝搬損失を低減するため、前記マルチモード光受光部の他側が、三角形状に除去された形状を有することが好ましい。マルチモード光受光部の他側を三角形状に除去された形状とすることにより、第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と第2の光導波路のマルチモード光受光部との結合長さが小さくなるため、ヒータに電流が流されてない場合、すなわち光減衰を必要としない場合に入力光の一部が第2の光導波路のマルチモード光受光部に漏洩し、入力光が減衰することを防止でき、可変範囲の広い光減衰器を得ることができる。

[0016] 前記第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、前記第2の光導波路のマルチモード光受光部とが、離隔して光結合するように所定間隔を有することが好ましい。第1の光導波路のマルチモード光伝搬部と第2の光導波路のマルチモード光受光部とを、所定の間隔で離隔して光結合するように設けることにより、光減衰を必要としない場合に入力光の一部が第2の光導波路のマルチモード光受光部に漏洩し、入力光が減衰することを防止することができるという前述の効果を一層高めることができる。

[0017] 前記所定間隔が $3\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。所定間隔を $3\mu\text{m}$ 以下とすることにより、光減衰を必要としない場合に入力光が減衰することを防止することができるという前述の効果を一層確実なものとすることができます。

[0018] 前記第1の光導波路の第1のテープ部が、放物線形状を有することが好ましい。前記第1の光導波路の第1のテープ部を放物線形状とすることにより、第1のテープ部の長さをより短くできるので、可変光減衰器をよりコンパクトにすることができます。

[0019] アレイ型可変光減衰器であって、前記熱光学型可変光減衰器を複数並列に配置して成ることが好ましい。前記第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側に、ヒータの加熱によって励起された高次モード光を受光して、バイパスさせるための第2の光導波路が設けられた光減衰器を複数並列に配置したアレイ型可変光減衰器であるため、ヒータの加熱によって励起された高次モード光が隣接導波路へ拡散漏洩して、光減衰量の可変範囲や導波路アレイ間のクロストークの劣化を抑制することができる。このため優れた高密度のアレイ型光減衰器が得られる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]図1は、従来の熱光学型可変光減衰器を示すスケルトン平面図である。

[図2]図2は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第1の実施形態を示すスケルトン平面図である。

[図3]図3は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第2の実施形態を示すスケルトン平面図である。

[図4]図4は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第3の実施形態を示すスケルトン平面図である。

[図5]図5は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第4の実施形態を示すスケルトン平面図である。

[図6]図6(a)は、図2のA-A'線における光導波路断面図であり、図6(b)は、図2のB-B'線における光導波路断面図であり、図6(c)は、図2のC-C'線における光導波路断面図である。

[図7]図7は、図5のE-E'線における光導波路断面図である。

[図8]図8は、本発明の第4の実施形態における減衰量可変範囲のシミュレーション

の結果を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

- [0021] 以下、本発明を実施するための最良の形態を図2から図8に基づき説明する。
- [0022] 本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第1の実施形態を、図2及び図6(a)～(c)を用いて説明する。図2は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第1の実施形態を示すスケルトン平面図である。図6(a)は、図2のA-A'線における光導波路断面図であり、図6(b)は、図2のB-B'線における光導波路断面図であり、図6(c)は、図2のC-C'線における光導波路断面図である。
- [0023] 図6(a)～(c)に示すように、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100は、Si(シリコン)、ガラス(石英)、光学ポリマーなどの材料から成る基板13上に、光学ポリマーなどの材料から成る導波路12(上部クラッド層12A、導波路コア層1, 7, 3, 9A、下部クラッド層12C)、及び金属材料(たとえば、Ta-Au)から成る薄膜ヒータ層4を順次積層させたもので、導波路コア層1, 7, 3, 9Aは、クラッド層12A, 12Cの屈折率よりも大きい屈折率を有する光学ポリマー材料から成る。
- [0024] 本実施形態の熱光学型可変光減衰器100の構成を、図2を用いて説明する。
- [0025] 热光学型可変光減衰器100は、第1の光導波路50と、第1の光導波路50を伝搬する光の強度を制御するための薄膜ヒータ4と、負熱光学効果によって第1の光導波路で発生した高次モード光をガイドするための第2の光導波路9から構成される。
- [0026] 第1の光導波路50は、入力光(光パワーPIN)が伝搬する第1のシングルモード光伝搬部1と、第1のシングルモード光伝搬部1の上記入力光の伝搬方向に形成された第1のテーパ部2と、第1のテーパ部2を伝搬する光の伝搬方向に形成されたマルチモード光伝搬部3と、マルチモード光伝搬部3の上記光の伝搬方向に形成された第2のテーパ部7と、第2のテーパ部7の上記光の伝搬方向に形成された第2のシングルモード光伝搬部8とから構成される。
- [0027] ここで、第1のシングルモード光伝搬部1と、第1のテーパ部2と、マルチモード光伝搬部3と、第2のテーパ部7と、第2のシングルモード光伝搬部8とは同一の中心軸CL1を有する。また、第1のシングルモード光伝搬部1と第2のシングルモード光伝搬部8とは同じ大きさの幅W1を有する。更に、マルチモード光伝搬部3の幅W2は第1及

び第2のシングルモード光伝搬部1, 8の幅W1よりも大きい(W1 < W2)。更に、第1のテーパ部2の長さL1と第2のテーパ部7の長さL3は、マルチモード光伝搬部3の長さL2よりも小さい(L1, L3 < L2)。

- [0028] 第2の光導波路9は、マルチモード光伝搬部3の片側側面3S1から所定の角度 2β ($0 < \beta < \pi/2$)を有する光導波路として設けられている。したがって、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100は、全体として非対称Y字形状を成している。
- [0029] この第2の光導波路9は、マルチモード光伝搬部3と同じ幅W2を有し、P1, P2を片側側面3S1との接合点とするマルチモード光の受光部9Aと、第2のシングルモード光伝搬部8の幅W1と同じ幅と同じ出力方向を有する出力端部9C(出力部)と、受光部9Aと出力端部9Cとを結ぶゆるやかな曲線形状のテーパ状光導波路9Bとから成る。
- [0030] また、第1の光導波路50の第2のシングルモード光伝搬部8の中心軸CL1と、第2の光導波路9の出力端部9Cの中心軸CL2との間隔Dは、隣接導波路アレイ間の間隔の1/2に設定するのがよい。
- [0031] また、本実施形態においては、第1の光導波路の第1のテーパ部2の光導波路形状を放物線形状にした。このとき、第1のテーパ部2において、関係式: $w(z) = (2\alpha\lambda g z + w_{min}^2)^{1/2}$ が成り立つ。ここで、 z ($0 \leq z \leq L1$) は、第1のテーパ部2の上記入力光の伝搬方向の入力側の端面に原点Oを設定したときの、第1のテーパ部2の中心軸CL1に沿った第1のテーパ部2の長さを表す。したがって、 $w(z)$ は長さ z における第1のテーパ部2の幅を表し、 $w(0) = w_1 \equiv w_{min}$, $w(L1) = w_2 \equiv w_{max}$ となる。また、 $\lambda g \doteq \lambda_0/n_c$ であり、 λ_0 は真空中の光の伝搬波長、 n_c は光導波路コア層1, 7, 3, 9Aの屈折率を表す。また、 α は $0 < \alpha < 1$ を満たす定数である。上記関係式を満たすように第1のテーパ部2の光導波路形状を放物線形状にすると、テーパ部の長さをより短くすることができる。
- [0032] このような本実施形態の熱光学型可変光減衰器100の製造にあたっては、様々な製造方法を適用することが可能であるが、ここでは、半導体製造プロセスを一例として取り上げて簡潔に説明する。
- [0033] Si、ガラス、又は光学ポリマー材料から成る基板上に、光学ポリマー材料を用いて

下部クラッド層12C、導波路コア層1, 7, 3, 9A、上部クラッド層12Aの順でスピンドル法により成膜する。

- [0034] 上記導波路コア層1, 7, 3, 9Aを形成するには、フォトリソグラフィ法と、ドライエッチング法(反応性イオンエッチング法(RIE))が一般的な方法として用いられる。
- [0035] 次いで、金属材料(例えば、Ta—Au)を真空蒸着又はスパッタリング法により成膜し、その後フォトリソグラフィ法とウェットエッチング法により薄膜ヒータ層4を作製する。
- [0036] 次に、上記のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器100の動作原理について説明する。
- [0037] 薄膜ヒータ層4に電流が流されると、マルチモード光伝搬部3の負熱光学特性により、上部クラッド層12Aを介して加熱されたマルチモード光伝搬部3の被加熱部の屈折率が周囲の光導波路コア層部分に比べて小さくなる。これによって、上記被加熱部において高次モード光が励起されることになる。この高次モード光のうち、一部の高次モード光は上記被加熱部を透過し、第2のテーパ部7に入射される。そして、大部分の高次モード光は、上記被加熱部において反射角 β で全反射され、マルチモード光伝搬部3の片側側面3S1から、第2の光導波路9の受光部9Aに導入され、第2の光導波路9の出力端9Cに向けてゆるやかな曲線形状に形成されたテーパ状導波路9Bを伝搬しながら、光を拡散放出し、出力端部9Cにおいては殆ど周囲への影響がない程度にまで減衰されて放出されるようになる。
- [0038] 一方、第1の光導波路50の上記高次モード光は、第2のテーパ部7から拡散漏洩し、第2のシングルモード光伝搬部8からはシングルモード光のみが出力光(光パワーPOUT1)として外部へ出力されることになる。その結果、上記出力光の光パワーPOUT1は、第1のシングルモード光伝搬部1を伝搬する入力光パワーPINと比べて小さくなる。
- [0039] 薄膜ヒータ層4に流れる電流が大きくなれば、第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の被加熱部で全反射されるマルチモード光の量が多くなり、更に多くの入力光が減衰されることになるので、本発明は、薄膜ヒータ層4に流される電流の大きさを変化させることによって可変光減衰器として動作させることができる。
- [0040] このように、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100においては、第1の光導波

路50のマルチモード光伝搬部3の被加熱部において全反射して励起された高次モード光の殆どが、第2の光導波路9の受光部9Aにスムーズに取り込まれ、出力端部9Cに向けて伝搬しながら拡散漏洩される。

[0041] したがって、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100を複数並列に配置してアレイ型可変光減衰器を製造した場合の、高次モード光の拡散漏洩に起因する隣接導波路アレイ間のクロストークを従来技術よりも低減させることが可能となる。本実施形態においては、隣接導波路アレイの間隔が $250 \mu\text{m}$ の場合、光減衰量の可変範囲は25dB以上、クロストークは-40dB以下になる。)。

[0042] 次に、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第2の実施形態について、図3を用いて説明する。図3は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第2の実施形態を示すスケルトン平面図である。図3において、第1の実施形態と同じ部材には同一の符号を付して説明を省略し、相違点のみを説明するにとどめる。

[0043] 本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Aは、第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の片側側面3S1からY字形に延出された第2の光導波路9とが交差するV字形領域にP1, P3, P4を頂点とする三角形状の光導波路を、薄膜ヒータ層4によって励起された高次モード光を取り込むための補助光導波路10として設けたものである。

[0044] 次に、以上のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Aの動作原理について説明する。

[0045] 第1の実施形態において説明したように、薄膜ヒータ層4に電流が流されると、これによって励起された高次モード光の大部分は第2の光導波路9の受光部9Aに導入されるが、一部の励起された高次モード光はGoos-Hanchen効果によって、マルチモード光伝搬部3と第2の光導波路9とが交差するV字形領域T1からも拡散放出される。

[0046] そこで、本実施形態においては、上記頂角 2β を成すV字形領域T1に、三角形状の補助導波路10を設け、これによってマルチモード光伝搬部3の片側側面3S1から拡散放出される高次モード光をより一層スムーズに第2の光導波路9に取り込むことができるようになった。

[0047] したがって、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Aを多数並列に配置してアレイ型可変光減衰器を製造した場合、第1の光導波路50の第2のテーパ部2における高次モード光の拡散漏洩に起因する隣接導波路アレイ間のクロストークを、従来技術は言うに及ばず第1の実施形態よりも更に低減させることが可能となる。

[0048] 次に、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第3の実施形態について、図4を用いて説明する。図4は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第3の実施形態を示すスケルトン平面図である。図4において、第2の実施形態と同じ部材には同一の符号を付して説明を省略し、相違点のみを説明する。

[0049] 本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Bは、マルチモード光伝搬部3の片側側面3S1からY字形に分岐した第2の光導波路9の受光部9Aの下側部分にP2, P5, P6を頂点とする三角形状の導波路除去部T21を設けたものである。

[0050] 次に、以上のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Bの動作原理について説明する。

[0051] 本実施形態においては、薄膜ヒータ層4に電流が流されない場合に顕著となるので、以下ではそのような状況についてのみ説明する。

[0052] 薄膜ヒータ層4によって励起された高次モード光を誘導して拡散放出させるための第2の光導波路9はヒータに電流が流されてない場合でも、マルチモード光伝搬部3を伝搬する入射光の一部を漏洩させ伝送損失を増大させる問題がある。

[0053] そこで、本実施形態は、高次モードの受光に対する影響が比較的少ないこのマルチモード光伝搬部3に接合する第2の光導波路9の下側部分に3角形状の導波路除去部T21を設けたもので、これによって挿入損失の要因となる接合部分の長さが短くなるので、挿入損失を低減させることができる。

[0054] 次に、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第4の実施形態について、図5, 7, 及び8を用いて説明する。図5は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第4の実施形態を示すスケルトン平面図である。図7は、図5のE-E'線での光導波路断面図である。図8は、本発明の第4の実施形態における光減衰量可変範囲の数値シミュレーションの結果を示すグラフである。図5において、第3の実施形態と同じ部材には同一の符号を付して説明を省略し、相違点のみを説明する。

[0055] 本実施形態は、第3の実施形態において、第2の光導波路9の受光部9Aと第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の片側側面3S1とを所定の間隔W3で離間して光結合させたものである。

[0056] 次に、以上のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Cの動作原理について説明する。

[0057] 図8は、本実施形態の熱光学型可変光減衰器における光減衰量の可変範囲のシミュレーション結果を示したものである。図8において、横軸は室温からの温度増加量 ΔT (°C)、縦軸は可変光減衰量(dB)を表す。

[0058] このシミュレーションにおける各種パラメータを以下のように設定した。

[0059] 第1及び第2の光導波路コア層1, 7, 3, 9Aの屈折率=1. 533、クラッド層12A, 12Cの屈折率=1. 526、下部クラッド層12Cの厚さ $d1=10\mu m$ 、第1及び第2の光導波路コア層の厚さ $h=7\mu m$ 、上部クラッド層12Aの厚さ $d2=10\mu m$ 、第1及び第2のシングルモード光伝搬部1, 8及び第2の光導波路9の出力端部9Cの幅 $W1=7\mu m$ 、マルチモード光伝搬部3の幅 $W2=30\mu m$ 、第1のテーパ部2の長さ $L1=1100\mu m$ 、マルチモード光伝搬部3の長さ $L2=3000\mu m$ 、第2のテーパ部7の長さ $L3=900\mu m$ 、除去部T21の光結合部の除去長さ $L4=100\mu m$ 、補助光導波路10の受光部の結合長さ $L5=500\mu m$ 、第1の光導波路の第2のシングルモード光伝搬部8の中心軸CL1と第2の光導波路9の出力端部9Cの中心軸CL2との間隔 $D=($ 導波路アレイ間隔) $/2$ 。なお、マルチモード光伝搬部3の幅 $W2$ は25~50 μm 、薄膜ヒータ層4の傾斜角 β は1. 0°~1. 5°、第2の光導波路9の中間部9Bの曲率半径 $R1, R2$ は10mm以上であればよい。また、薄膜ヒータ層4の材料としてTa-Auを選定し、薄膜ヒータ層4の厚さ $d3=0.2\mu m$ 、薄膜ヒータ層4の幅 $W4=7\mu m$ 、薄膜ヒータ層4の傾斜角 $\beta=1.4^\circ$ 、薄膜ヒータ層4の長さ=3. 5mmと設定した。また、第1の光導波路50の第1のテーパ部2の形状は放物線形状とした。

[0060] 上記の様に設定された各種パラメータを用いて、 ΔT (°C)と第1の光導波路50における可変光減衰量(dB)との関係をシミュレーションした結果を図8に示す。ここに示された各曲線は、第2の光導波路9がない場合、第1の光導波路50の片側側面3S1と第2の光導波路9の受光部9Aとの間隔 $W3=0\mu m, 1\mu m, 2\mu m$ の場合を表

している。

[0061] このことから、第2の光導波路9を有しない場合の可変光減衰量は約14dB、上記間隔W3が2 μ mの場合は約18dB、上記間隔W3が1 μ mの場合は約22dB、上記間隔W3が0 μ mの場合は約28dBとなり、後者の3つの場合のすべてが第2の光導波路9を有しない場合よりも光減衰量の可変範囲が広くなることがわかる。また、後者の3つの場合を比較してみると、上記間隔W3が0 μ mの場合が最も光減衰量の可変範囲が広いことがわかる。しかし、 $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$ の場合の入力光の伝送損失を比較してみると、上記間隔W3が0 μ mの場合は約0. 5dB、上記間隔W3が2 μ mの場合は約0. 3dB以下と伝送損失が小さくなる。

[0062] したがって、第1の光導波路50の一方の側面3S1と第2の光導波路9の受光部9Aとの間隔W3は、使用目的に応じて光減衰量可変範囲と光クロストークとをトレードオフさせて選択すればよい。

[0063] 以上において、本発明の実施形態の詳細を説明したが、本発明の熱光学型可変光減衰器及びこれを用いたアレイ型可変光減衰器は、上記実施形態に限定されるものではない。

請求の範囲

[1] 負熱光学効果を有する光学材料を用いた熱光学型可変光減衰器であつて、
入力光が伝搬する第1のシングルモード光伝搬部と、出力光が伝搬する第2のシングルモード光伝搬部と、前記第1及び第2のシングルモード光伝搬部の間に設けられたマルチモード光伝搬部と、前記第1のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第1のテーパ部と、前記第2のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第2のテーパ部と、を有する第1の光導波路と、
前記出力光の伝搬方向に対して角度 β 傾斜させて、前記マルチモード光伝搬部上に配置された薄膜ヒータと、
前記薄膜ヒータによって励起され、拡散放出された高次モード光を受光し、バイパスさせるために、前記マルチモード光伝搬部の片側に、前記出力光の伝搬方向に対して角度 2β 傾斜した方向に設けられたマルチモード光受光部と、前記マルチモード光受光部で受光されたマルチモード光を前記第2のシングルモード光伝搬部の中心軸と平行な方向にガイドし、放出させるための出力部と、を有する第2の光導波路と、
を備えたことを特徴とする熱光学型可変光減衰器。

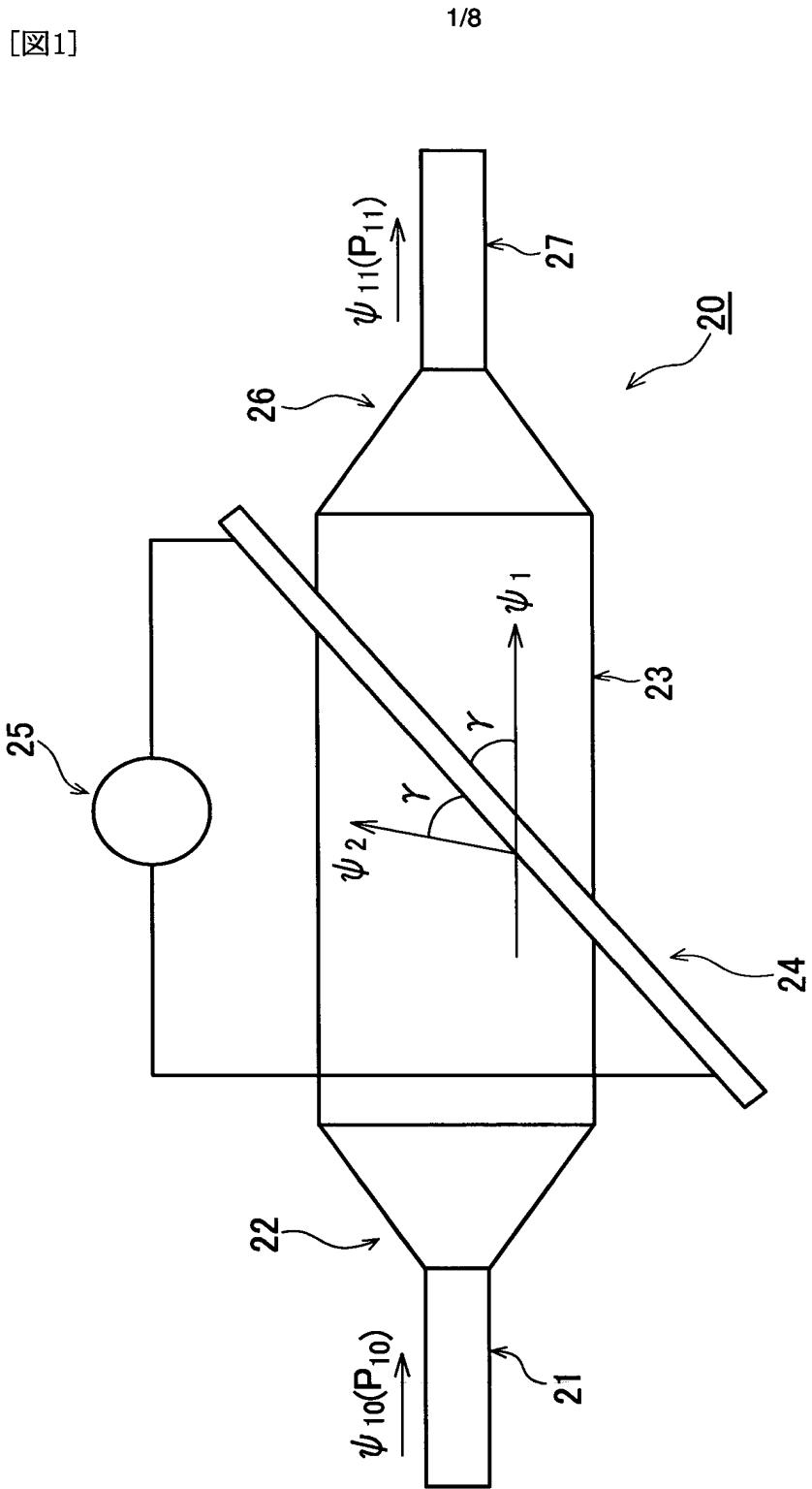
[2] 前記第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、当該マルチモード光伝搬部の片側に角度 2β 傾斜した方向に設けられた前記第2の光導波路とが交差するV字型領域に、前記高次モード光を効率的に受光伝搬させるための三角形状の補助光導波路を設けたことを特徴とする請求項1に記載の熱光学型可変光減衰器。

[3] 前記マルチモード光受光部に起因する光伝搬損失を低減するため、前記マルチモード光受光部の他側が、三角形状に除去された形状を有することを特徴とする請求項2に記載の熱光学型可変光減衰器。

[4] 前記第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、前記第2の光導波路のマルチモード光受光部とが、離隔して光結合するように所定間隔を有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器。

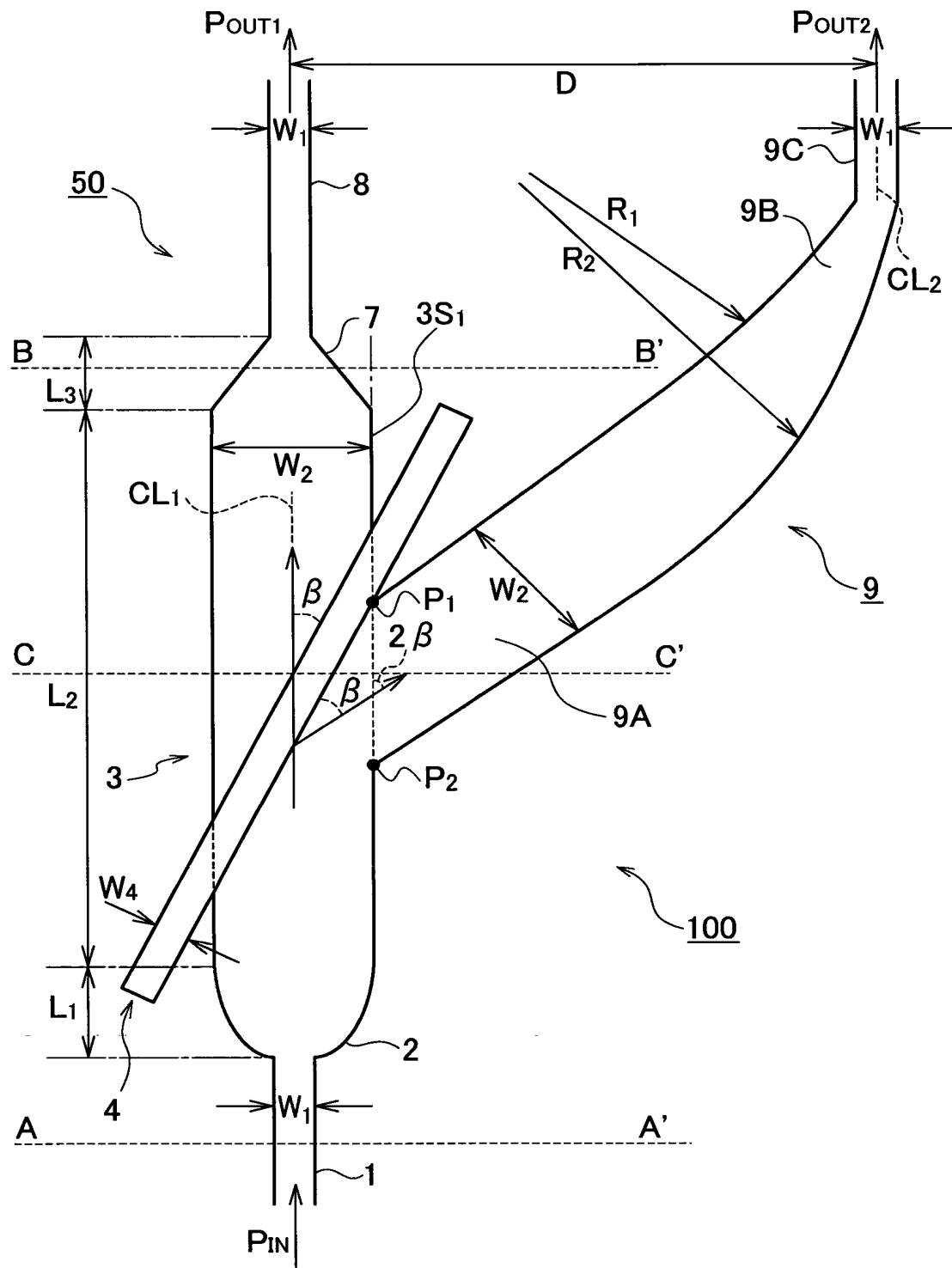
[5] 前記所定間隔が $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項4に記載の熱光学型可変光減衰器。

- [6] 前記第1の光導波路の第1のテーパ部が放物線形状を有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器。
- [7] 請求項1乃至6のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器を複数並列に配置して成ることを特徴とするアレイ型可変光減衰器。



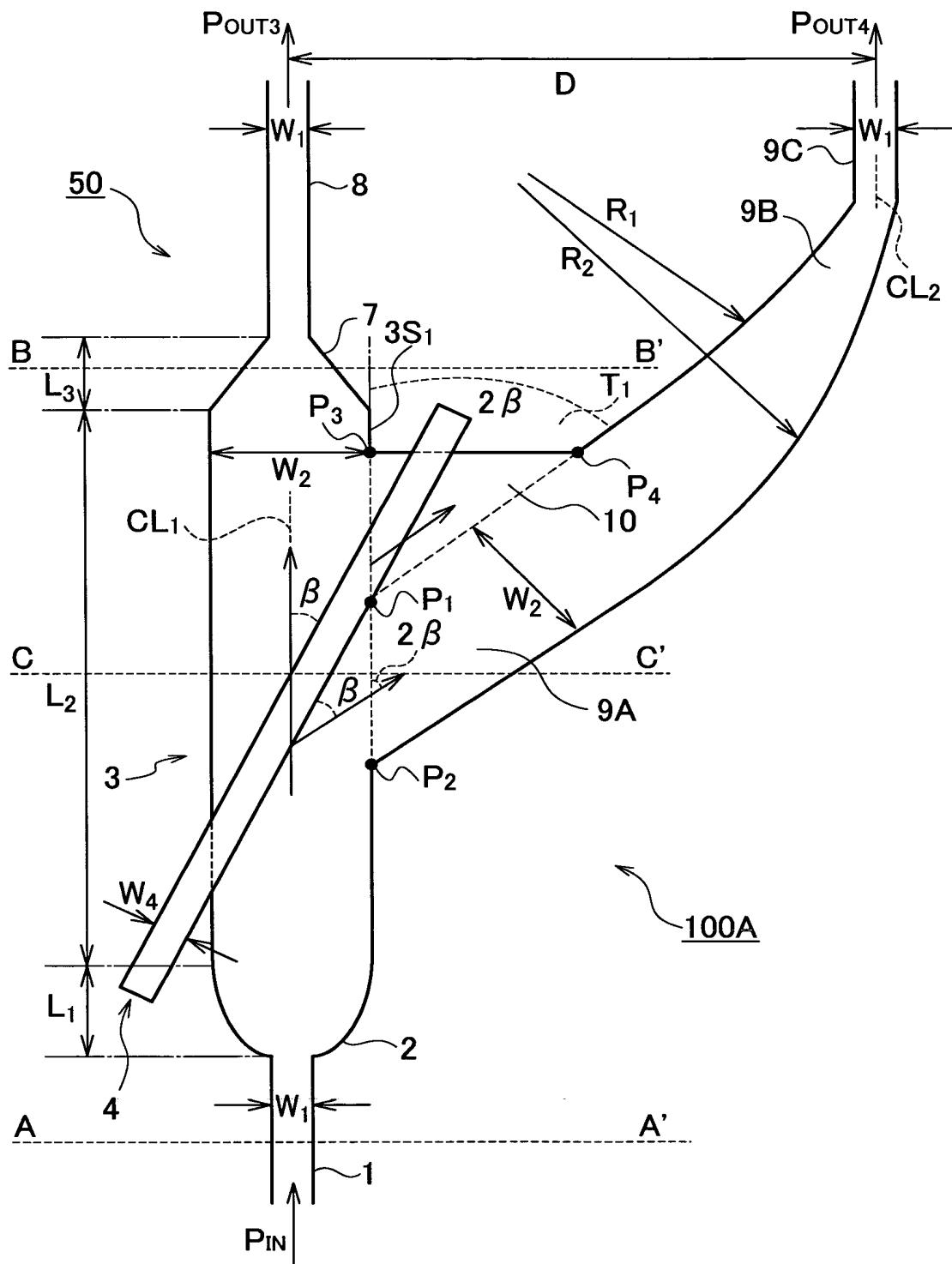
[図2]

2/8

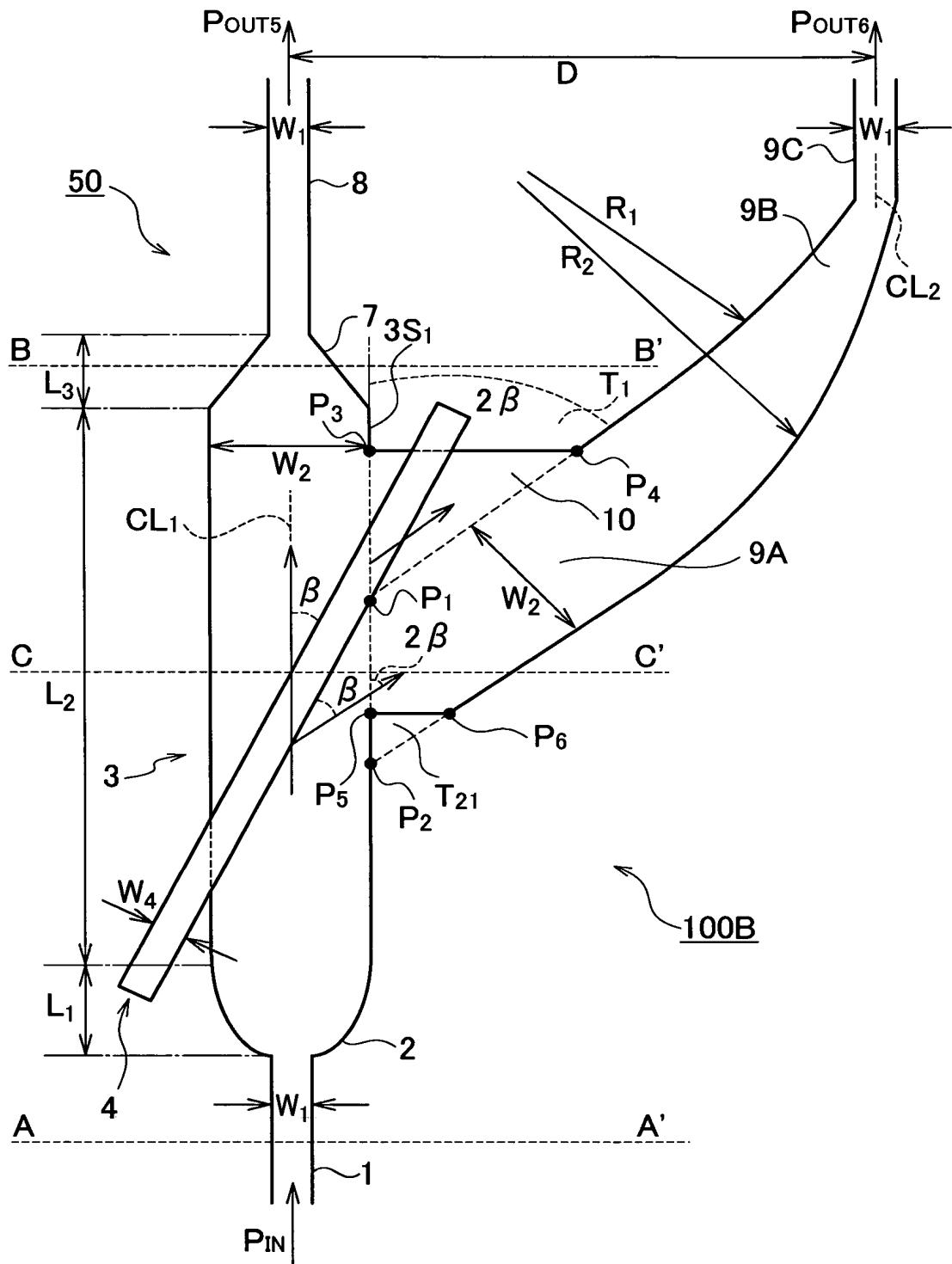


[図3]

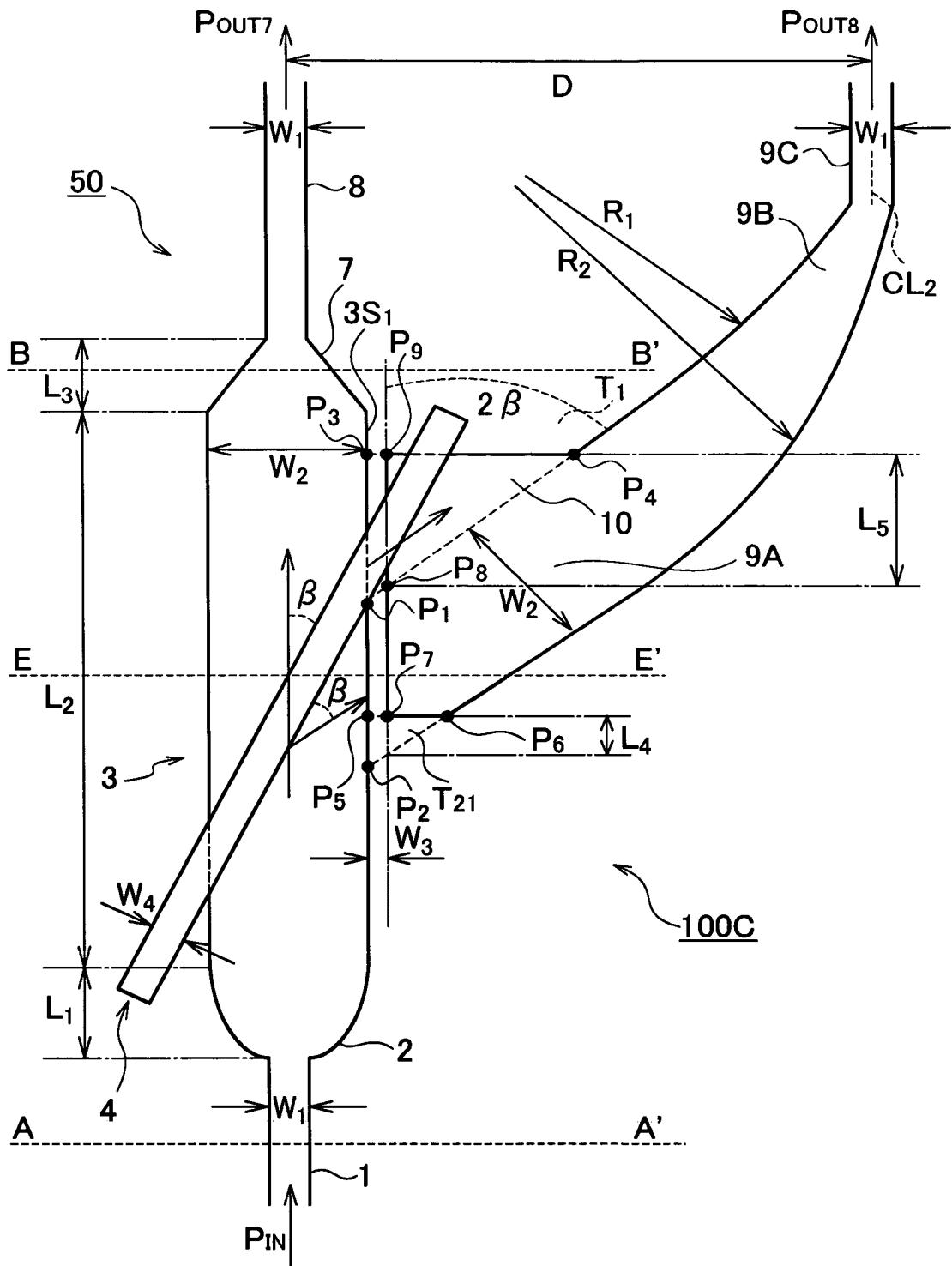
3/8



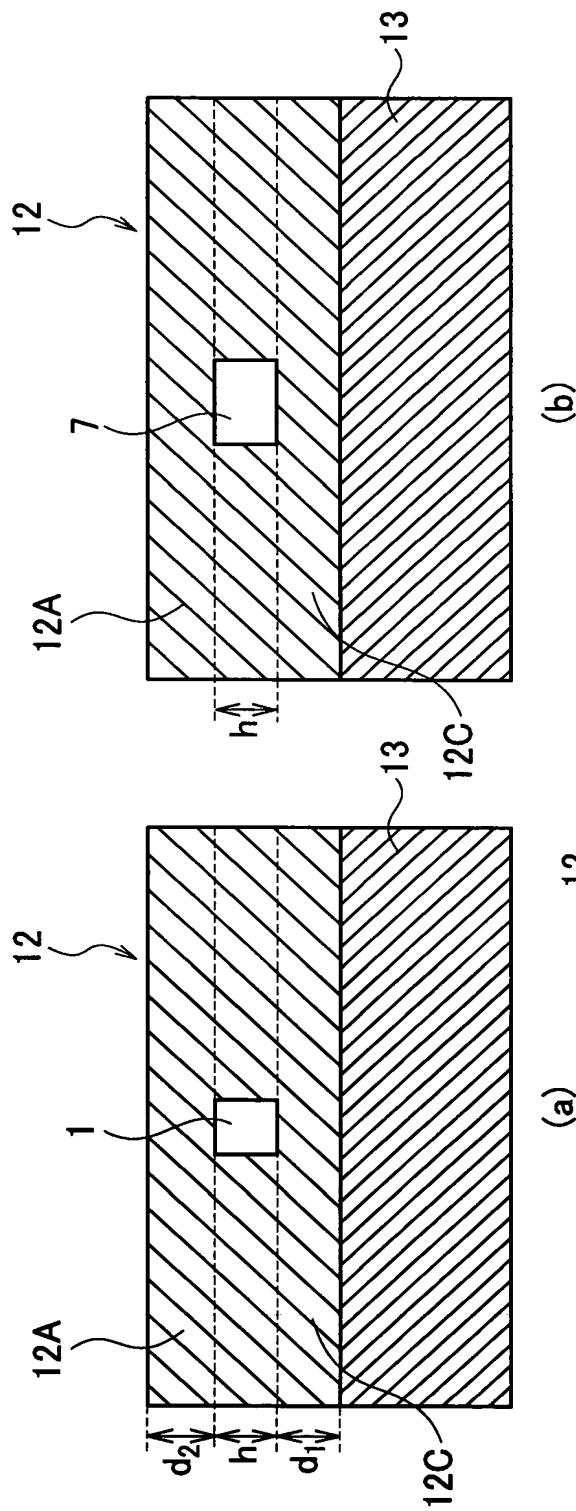
[図4]



[図5]

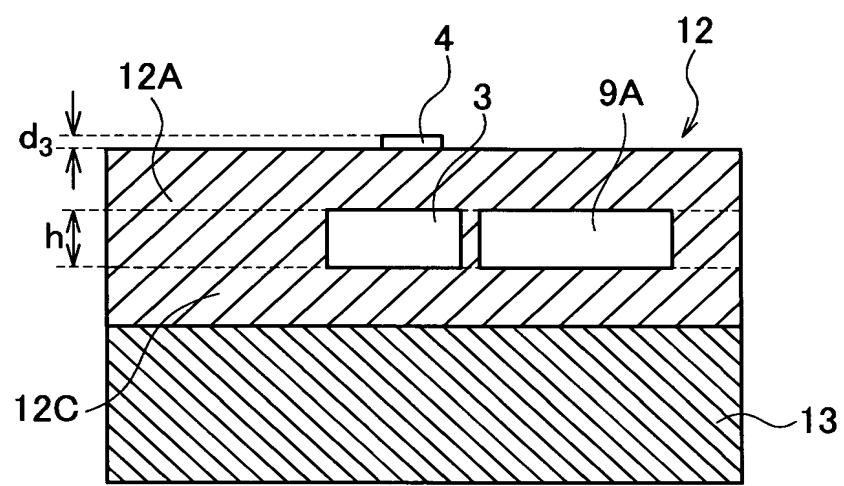


[図6]



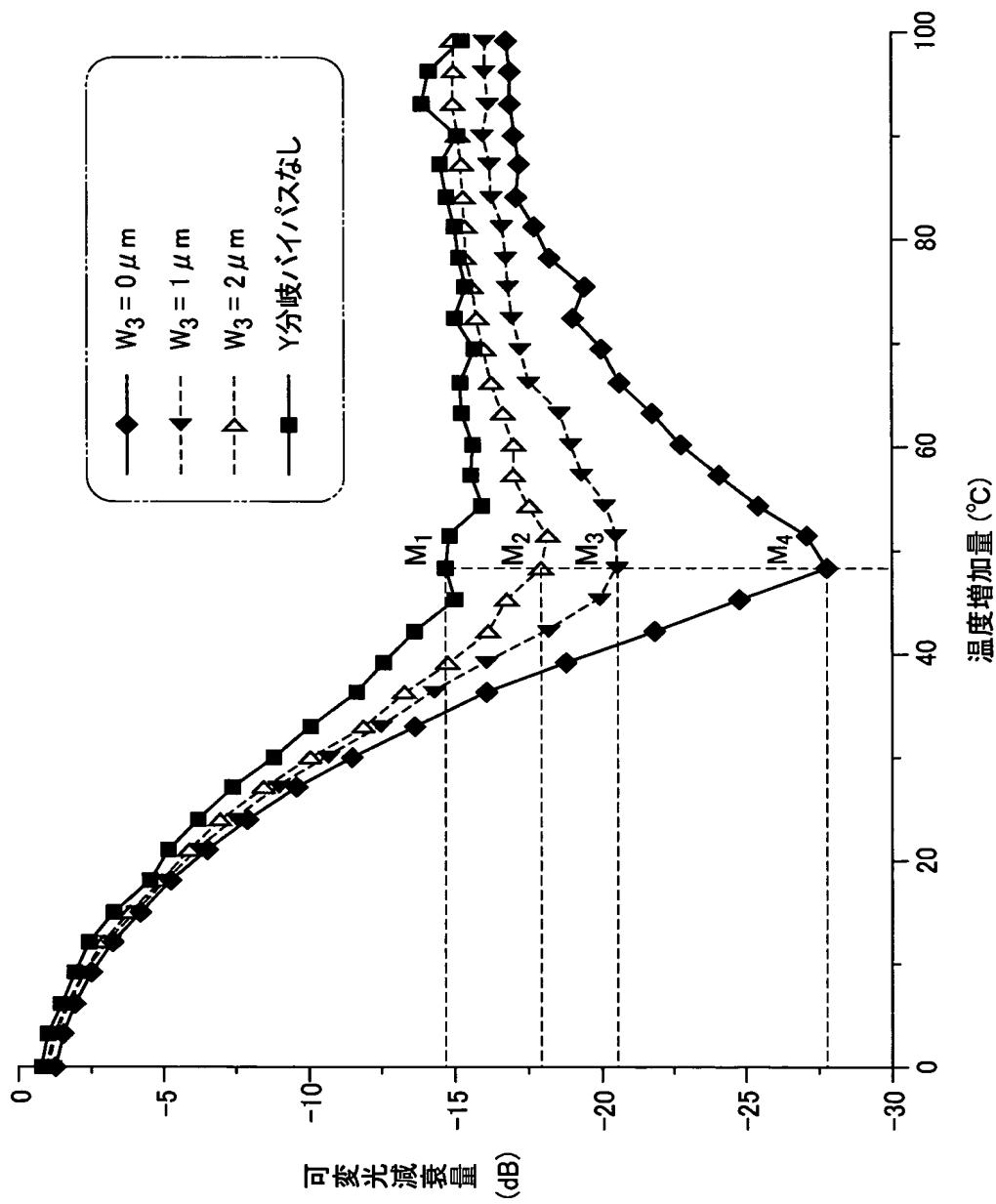
[図7]

7/8



8/8

[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011481

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02F1/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02F1/01, G02B6/12Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Noh, Y.O. et al., PLC-type variable optical attenuator operated at low electrical power, Electronics Letters, Vol.36, No.24, (November, 2000), pages 2032 to 2033	1-7
Y	JP 2002-23123 A (Fujitsu Ltd.), 23 January, 2002 (23.01.02), & US 2002/0006245 A1	1-7
Y	JP 04-282602 A (Sumitomo Cement Co., Ltd.), 07 October, 1992 (07.10.92), ((Family: none))	1-7

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"B"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 November, 2004 (05.11.04)Date of mailing of the international search report
22 November, 2004 (22.11.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011481

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2003/0133663 A1 (JDS UNIPHASE CORP.), 17 July, 2003 (17.07.03), (Family: none)	1-7
Y	WO 02/31587 A (MARCONI CASWELL LTD.), 18 April, 2002 (18.04.02), Fig. 9 & GB 2367904 A & CA 2425069 A & AU 9212901 A & EP 1325365 A	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 G02F1/01

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 G02F1/01 G02B6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

INSPEC

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	Noh, Y. O. et al. PLC-type variable optical attenuator operated at low electrical power, Electronics Letters, Vol. 36, No. 24 (November 2000) p. 2032-2033	1-7
Y	J.P 2002-23123 A (富士通株式会社) 2002. 01. 23 & US 2002/0006245 A1	1-7
Y	J.P 04-282602 A (住友セメント株式会社) 1992. 10. 07 (ファミリーなし)	1-7

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 05.11.2004	国際調査報告の発送日 22.11.2004
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 宙子 2X 9316 電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) : 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	US 2003/0133663 A1 (JDS UNIPHASE CORPORATION) 2003. 07. 17 (ファミリーなし)	1-7
Y	WO 02/31587 A (MARCONI CASWELL LIMITED) 2002. 04. 18, Fig. 9 & GB 2367904 A & CA 2425069 A & AU 9212901 A & EP 1325365 A	1-7